старшокласників. Студенти здійснюють керівництво гуртковою роботою, організовують вечори з фізики і наукові конференції, допомагають вчителям фізики організовувати і проводити олімпіади.

Під час викладацької педагогічної практики майбутні фахівці відповідного напряму підготовки беруть участь у розробці планів роботи студентського гуртка [4].

Для кращого здійснення аналізу позакласних заходів студентами здійснювався запис окремих фрагментів на відеоплівку. При перегляді їх студент-практикант має можливість поглянути на себе з боку, проаналізувати свої дії, побачити зроблені ним помилки й дати оцінку своїй роботі.

Висновки. Практика є однією із складових професійної підготовки майбутнього вчителя. Формування професійної компетентності студентів у процесі педагогічної практики залежить від створення системи практичної підготовки та організації педагогічної практики відповідно до змісту та завдань підготовки майбутніх учителів фізики

Вивчення курсу «Методика організації позаурочної роботи з фізики», адаптовано до програми практик, вносить певний вклад у подальший розвиток змісту і структури педагогічної практики як засобу професійної практичної підготовки майбутнього фахівця та визначаються системою ключових, галузевих і предметних компетентностей, що враховують сучасні тенденції розвитку науки, техніки і технології освіти і забезпечують формування кваліфікованого вчителя до викладання предметів циклу природничо-наукових спеціальностей.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Гончаренко Семен. Український педагогічний словник. – К. : Либідь, 1997. – 376 с.
2. Євтух М. Б. Педагогічна практика / М. Б. Євтух // Енциклопедія освіти / Акад. пед. наук України; головн. ред. В.Г.Кремень. – К. : Юрінком, 2008. – 1040 с.
3. Калініна Л.В. Педагогічна практика : традиції та інновації / Л.В.Калініна // Вища освіта і наука України : історія, сьогодення та перспективи розвитку. Житомирська область. – К. : Знання України, 2009. – С. 467-488.
4. Педагогічна практика : навчальний посібник / М. Т. Мартинюк, О. В. Гнатюк, Т. Л. Годованюк, Н. М. Стеценко. – Умань : ПП Жовтий О. О., 2011. – 175 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Гнатюк Оксана Володимирівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики і астрономії та методики їх викладання, Рівненський державний гуманітарний університет.

Коло наукових інтересів: Теорія і практика впровадження компетентнісного підходу у вивченні природничих дисциплін.

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ИНВЕРСИИ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЯ – ТОМСОНА МЕТОДОМ ПРИВЕДЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Евгений ДЕЙ, Геннадий ТЮМЕНКОВ

Рассмотрение уравнений состояния реальных газов в приведенных переменных позволяет существенно расширить круг учебных задач при изложении эффекта Джоуля-Томсона и получить результаты, применимые к различным газам в силу принципа соответственных состояний.

Consideration of the equations of state of real gases in reduced variables allows to expand the range of educational problems in describing the Joule-Thomson effect and to obtain results that are applicable to various gases by the principle of corresponding states.

Эффект Джоуля-Томсона, приводящий к изменению температуры реальных газов при изоэнтальпической фильтрации сквозь пористую перегородку, представляет собой один из важнейших термодинамических процессов, определяющих многие свойства и явления в окружающей среде, в быту и на производстве. В курсе «Термодинамика и статистическая физика» обычно этот процесс рассматривается на примере газа Ван-дер-Ваальса [1-3].

В работе [4] был предложен вариант теоретического изучения эффекта с применением приведенных термодинамических переменных и получены результаты для газов Ван-дер-Ваальса, Бертло и первого уравнения Дитеричи. Был сделан вывод о том, что изучение процесса Джоуля-Томсона может служить еще одним примером использования приведенных переменных в курсе термодинамики. В силу принципа соответственных состояний, получаемые результаты в рамках выбранного уравнения состояния являются общими для всех термодинамически подобных веществ.

В данной работе мы продолжим рассмотрение двухпараметрических уравнений состояния реальных газов в плане применения их для расчета параметров процесса Джоуля-Томсона и последующего использования при изложении материала в рамках классических курсов «Термодинамика и статистическая физика» и «Физическая химия».

Удобным для изучения и физически обоснованным является упрощенное уравнение состояния, молярная форма которого имеет вид [5]

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)}. \quad (1)$$

Стандартным этапом практического использования уравнений состояния реальных газов является определение параметров уравнений на основе рассмотрения критического состояния вещества. На изотерме при критической температуре этому состоянию соответствует единственная критическая точка, являющаяся одновременно точкой схождения локальных экстремумов и точкой перегиба. Математически это означает, что

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{Tkp} = 0, \ \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{Tkp} = 0. \quad (2)$$

Для уравнения (1) частные производные (2) равны

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = \frac{a(2V+b)}{V^2(V+b)^2} - \frac{RT}{(V-b)^2}; \ \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = \frac{2RT}{(V-b)^3} - \frac{2a\left(3V^2+3Vb+b^2\right)}{V^3(V+b)^3}. \quad (3)$$

Соотношения (2) - (3) образуют систему уравнений, позволяющую выразить характеристики критического состояния (критическую температуру $T_{кр}$, критическое давление $P_{кр}$ и критический объем $V_{кр}$) через параметры *a, b* уравнения состояния. При этом для вспомогательной величины $x = V_{кр} - b$ получаем неполное уравнение $x^3 - 6b^2x - 6b^3 = 0$, действительный корень которого равен $x = b\left(\sqrt[3]{4} + \sqrt[3]{2}\right)$. Следовательно,

$$V_{kp} = \left(\sqrt[3]{4} + \sqrt[3]{2} + 1\right)b = b/\xi, \ \xi = \left(\sqrt[3]{2} - 1\right) = 0.259921 \cong 0.26;$$

$$T_{kp} = \frac{a}{bR} \cdot 3\xi^2 = 0.202677\frac{a}{Rb}, \ P_{kp} = \frac{a}{b^2} \cdot \xi^3 = 0.01756\frac{a}{b^2}. \quad (4)$$

Из (4) получаются соотношения для вычисления параметров *a, b* отдельного газа по экспериментально измеряемым параметрам критического состояния:

$$a = \frac{\left(RT_{кр}\right)^2}{9\xi P_{кр}}; \ b = \frac{\xi RT_{кр}}{3P_{кр}}. \quad (5)$$

Определив приведённые параметры как

$$\widetilde{V} = \frac{V}{V_{kp}}, \ \widetilde{T} = \frac{T}{T_{kp}}, \ \widetilde{P} = \frac{P}{P_{kp}}, \quad (6)$$

на основе выражений (5), (6) и (1), получим приведенное уравнение

$$\widetilde{P} = \frac{3\widetilde{T}}{\widetilde{V} - \xi} - \frac{1}{\xi\widetilde{V}\left(\widetilde{V} + \xi\right)}. \quad (7)$$

Рассмотрим задачу построения кривой инверсии процесса Джоуля-Томсона в приведенных переменных для уравнения (1). Как показано в [4], для этого удобно использовать приведенный коэффициент

$$\widetilde{\lambda} = \widetilde{V}\left(\frac{\partial \widetilde{P}}{\partial \widetilde{V}}\right)_{\widetilde{T}} + \widetilde{T}\left(\frac{\partial \widetilde{P}}{\partial \widetilde{T}}\right)_{\widetilde{V}}. \quad (8)$$

При уменьшении давления ($d\widetilde{P} < 0$), следующем из условия протекания процесса Джоуля-Томсона, возможны два варианта изменения температуры в зависимости от знака параметра $\widetilde{\lambda}$:

$$\widetilde{\lambda} > 0 \to d\widetilde{T} < 0, \ \widetilde{\lambda} < 0 \to d\widetilde{T} > 0.$$

Первый вариант соответствует положительному эффекту Джоуля-Томсона (газ остывает), второй – отрицательному (газ нагревается). Условием же $\widetilde{\lambda}=0$ задаются точки инверсии, в которых изменяется знак эффекта, поэтому данному условию можно сопоставить приведенную температуру инверсии $\widetilde{T}_i$ и получить выражение для ее расчета. Находим $\widetilde{\lambda}$ на основе определения (8) и уравнения (7)

$$\widetilde{\lambda}=\frac{2\widetilde{V}+\xi}{\xi\widetilde{V}\left(\widetilde{V}+\xi\right)^2}-\frac{3\xi\widetilde{T}}{\left(\widetilde{V}-\xi\right)^2}. \quad (9)$$

Приравняв (9) к нулю, получаем выражение приведённой температуры инверсии через приведенный объем термодинамического состояния

$$\widetilde{T}_i\left(\widetilde{V}\right)=\frac{\left(2\widetilde{V}+\xi\right)\left(\widetilde{V}-\xi\right)^2}{3\xi^2\widetilde{V}\left(\widetilde{V}+\xi\right)^2}, \quad (10)$$

что позволяет также выразить давление в точках инверсии как функцию объема газа

$$\widetilde{P}_i\left(\widetilde{V}\right)=\frac{2\left(\widetilde{V}^2-\xi\widetilde{V}-\xi^2\right)}{\xi^2\widetilde{V}\left(\widetilde{V}+\xi\right)^2}. \quad (11)$$

В отличие от более простых случаев, рассмотренных в [4], полученные соотношения (10), (11) для точек инверсии не позволяют явно выразить температуру инверсии через давление в виде аналитического выражения кривой инверсии $\widetilde{P}_i\left(\widetilde{T}\right)$ или $\widetilde{T}_i\left(\widetilde{P}\right)$. Однако, график кривой инверсии можно построить по точкам, изменяя в широком диапазоне значения аргумента $\widetilde{V}$ и вычисляя соответствующие значения $\widetilde{P}_i$ и $\widetilde{T}_i$ на основании (10), (11). Такие вычисления можно осуществить как с помощью любого языка программирования, так и с применением специализированных математических пакетов, например, Mathcad. Кроме того, возникает ряд новых задач по качественному исследованию полученных выражений: нахождение граничных точек кривой, максимально возможного давления инверсии и так далее. При этом наиболее удобным как раз и является использование соотношений, записанных в приведенной форме, так как результат имеет общий для всех реальных газов характер, и решение достаточно выполнить только один раз.

Рассмотрим предельное поведение параметров инверсионной кривой при условии $\widetilde{V}\to\infty$. В этом случае получаем значения максимально возможной температуры инверсии (правая крайняя точка искомой кривой)

$$\widetilde{T}_R=\lim_{\widetilde{V}\to\infty}\widetilde{T}_i(\widetilde{V})=\frac{2}{3\xi^2}=9.867925;\ \widetilde{P}_R=\lim_{\widetilde{V}\to\infty}\widetilde{P}_i(\widetilde{V})=0. \quad (13)$$

Для расчета значения минимальной температуры инверсии $\widetilde{T}_L$ (крайняя левая точка искомой кривой) найдем вначале значение приведенного объема, при котором величина приведенного давления равна нулю $\widetilde{P}_L(\widetilde{V}_L)=0$. На основании (11) получаем

$$\widetilde{V}_L=\xi\frac{\left(\sqrt{5}+1\right)}{2}=0.420561, \quad (14)$$

тогда с учетом (7) этому состоянию соответствует значение температуры

$$\widetilde{T}_L=\widetilde{T}(\widetilde{V}_L)=\frac{2\left(\sqrt{5}+2\right)\left(\sqrt{5}-1\right)^2}{3\xi^2\left(\sqrt{5}+1\right)\left(\sqrt{5}+3\right)^2}=0.719855. \quad (15)$$

Для вычисления параметров точки максимума $\widetilde{P}_M$, $\widetilde{T}_M$ инверсионной кривой $\widetilde{P}(\widetilde{T})$ нами было использовано соотношение Максвелла, записанное в приведенных переменных $\left(\partial\widetilde{P}/\partial\widetilde{T}\right)_{\widetilde{V}}=-\left(\partial\widetilde{P}/\partial\widetilde{V}\right)_{\widetilde{T}}\left[\left(\partial\widetilde{T}/\partial\widetilde{V}\right)_{\widetilde{P}}\right]^{-1}$, на основании которого положение максимума определяется не только условием $\left(\partial\widetilde{P}/\partial\widetilde{T}\right)_{\widetilde{V}}=0$, но и условием $\left(\partial\widetilde{P}/\partial\widetilde{V}\right)_{\widetilde{T}}=0$. Выполняя дифференцирование соотношения (12), получаем нелинейное уравнение, определяющее значение приведенного объема, соответствующего состоянию инверсии с максимальным приведенным давлением $\left(\tilde{V}+\xi\right)^3 = 2\tilde{V}^3$, положительный корень которого равен $\tilde{V}_M = 1$. Далее на основании формул (11), (12) вычисляем параметры точки максимума инверсионной кривой в приведенных координатах $\tilde{P}_M = 12.541966,\ \tilde{T}_M = 3.847322.$

Аналогичные задачи можно решить и для второго уравнения Дитеричи, которое часто встречается в учебной литературе. Кратко перечислим основные результаты для этого уравнения:

1) Явный вид молярного уравнения $\left(P+\dfrac{a}{V^{5/3}}\right)(V-b)=RT\cdot$

2) Критические параметры $V_{кр}=4b$; $P_{кр}=\dfrac{a}{4(4b)^{5/3}}$; $T_{кр}=\dfrac{15a}{16(4b)^{2/3}R}\cdot$

3) Связь параметров уравнения с параметрами критического состояния

$$a=\frac{4^{8/3}\left(RT_{кр}\right)^{5/3}}{15^{5/3}P_{кр}^{2/3}}=\frac{16(4b)^{2/3}}{15}RT_{кр};\ b=\frac{RT_{кр}}{15P_{кр}}$$

4) Уравнение в приведенных переменных $\left(\tilde{P}+\dfrac{4}{\tilde{V}^{5/3}}\right)\left(4\tilde{V}-1\right)=15\tilde{T}\cdot$

5) Параметр $\tilde{\lambda}=\dfrac{20}{3\tilde{V}^{5/3}}-\dfrac{15\tilde{T}}{\left(4\tilde{V}-1\right)^2}$.

6) Связь приведенных параметров $\tilde{T}_i\left(\tilde{V}\right)=\dfrac{4\left(4\tilde{V}-1\right)^2}{9\tilde{V}^{5/3}}$, $\tilde{P}_i\left(\tilde{V}\right)=\dfrac{16\left(5\tilde{V}-2\right)}{3\tilde{V}^{5/3}}$.

7) Граничные точки инверсионной кривой $\tilde{P}_L=0$, $\tilde{T}_L=\left(\dfrac{2}{5}\right)^{1/3}=0.736806$, $\tilde{V}_L=\dfrac{2}{5}$, $\tilde{P}_L\to 0\ \tilde{T}_L\to\infty\ \tilde{V}_L\to\infty$.

8) Максимально возможное приведенное давление инверсии эффекта Джоуля-Томсона $\tilde{P}_M=16\ \tilde{T}_M=4\ \tilde{V}_M=1$.

Для построения графика кривой инверсии значение приведенного объема $\tilde{V}$ изменялось с малым шагом от значения $\tilde{V}=\tilde{V}_L$ до значений порядка $\tilde{V}=10^3$, по формулам (11), (12) вычислялись приведенные температура и давление состояния инверсии, и полученные точки отображались в плоскости $\left(\tilde{P},\tilde{T}\right)$. Для сравнения на этом же графике приведена инверсионная кривая для уравнения Ван-дер-Ваальса.

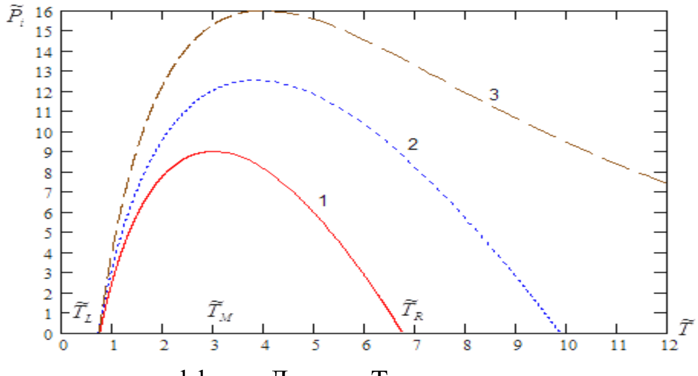

Рис. 1 – Кривые инверсии эффекта Джоуля-Томсона в приведенных переменных (1-уравнение Ван-дер-Ваальса, 2 – уравнение (1), 3 – второе уравнение Дитеричи)

Анализ построенных графиков позволяет сделать вывод о близости инверсионных кривых при малых значениях приведенной температуры инверсии. В то же время при больших значениях температуры инверсионные кривые для различных уравнений существенно отличаются. Такая ситуация с необходимостью приводит к задаче нахождения уравнения, наиболее близкого к поведению реальных газов.

Полученные результаты могут служить основой для разработки комплекта задач для проведения практических занятий, а также в качестве основы задания для проведения самостоятельной управляемой работы студентов (СУРС) и учебно-исследовательской работы студентов.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Румер, Ю.Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. – 2-е изд. – Новосибирск: Издательство Новосибирского университета, 2000. – 608 с.

2. Кириченко П.А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика / П.А. Кириченко. – 3-е изд. – М.: Физматкнига, 2005. – 176 с.

3. Кудинов, В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 2001. – 261 с.

4. Дей, Е.А. Изучение процесса Джоуля – Томсона методом приведенных переменных / Е.А. Дей, В.В. Свиридова, Г.Ю. Тюменков // Наукові записки. - Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. Винниченка. – 2012. - Випуск 108. - Ч.2. - С. 32 - 36.

5. Петрик Г.Г. О новом подходе к получению физически обоснованных уравнений состояния. Модель взаимодействующих точечных центров // Г.Г. Петрик. – Мониторинг: наука и технологии. - 2009. - №1(1). - С. 43 - 59.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дей Евгений Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической физики УО «Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины».

Тюменков Геннадий Юрьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической физики УО «Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины».

Круг научных интересов: совершенствование методики преподавания дисциплин теоретической физики.

ЗНАЧЕНИЕ УРОКОВ ФИЗИКИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛОСТНОГО МИРОПОНИМАНИЯ

Тамара ЖЕЛОНКИНА, Светлана ЛУКАШЕВИЧ, Евгений Шершнев

В статье рассмотрена роль физики, как науки и как учебного предмета, в формировании целостного миропонимания естественно-научной картины мира посредством уроков физики.

In article the physics role, as sciences and as subject, in formation of complete outlook of a natural-science picture of the world by means of physics lessons is considered.

Изучение физики в настоящее время сопряжено с целым рядом особенностей, если не сказать трудностей развития школьного образования в нашей стране. Как отмечается в ряде статей, приходится говорить даже о кризисе физического образования. Причины его видятся, в первую очередь, в следующем: в изменении приоритетов в обществе и в науке -- в настоящее время на фоне резкого падения интереса к науке в целом наблюдается рост приоритета гуманитарных наук; в сложном, чрезмерно формально математизированном содержании учебного предмета; в оторванности содержания физического образования от жизни (особенно в массовых школах); в малом воздействии на чувства и эмоции учащихся.

Наметим круг проблем, учитывая и решая которые, мы, наверное, сможем успешно выйти из сложившейся ситуации. Обозначим эти проблемы, опираясь на высказывания ученых разных времен и народов, без подробных комментариев.

1) Какова основная задача обучения физике в школе?

А.П. Александров: «Преподавание физики в сегодняшней школе ... должно давать твердые основы знаний, которые можно использовать в жизни. В этом смысле учебный курс нужно построить на практическом материале даже больше, чем это было раньше».

2) Как следует подходить к изучению физики на уроках?